

基于多维关联规则的建筑工程地质勘察数据整合研究

Research on Data Integration of Construction Engineering Geological Investigation Based on Multidimensional Association Rules

赵君鹏

(河南省地质局生态环境地质服务中心, 河南 郑州 450000)

摘要: 随着建筑工程复杂性的增加, 对地质勘察数据的精确整合等各方面提出了更高要求。为解决建筑工程地质勘察数据整合问题, 运用频繁模式增长树策略提取多维关联规则以优化数据质量, 并采用倒数距离加权插值法构建高精度三维地质体模型。同时, 以C语言编程优化模型, 实现与地质模型的精确拟合。结果表明: 运用该方法在工程勘察中整合地质数据, 提高了叠置规则精确度, 实现了BIM模型与地质体的高度一体化。该方法为地质勘察数据整合与BIM模型构建提供了新的有效路径, 具有显著的应用潜力和推广价值。

关键词: 多维关联规则; 地质勘察; 数据整合; 3D建模; 地质模型

中图分类号: P642.4 文献标志码: A 文章编号: 1005-8249(2024)04-0164-05

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2024.04.030

ZHAO Junpeng

(Ecological Environmental Geology Service Center of Henan Provincial Bureau of Geology, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: With the increase of complexity of construction projects, higher requirements are put forward on various aspects such as accurate integration of geological survey data. In order to solve the problem of integrating geological survey data for construction projects, the frequent pattern growth tree strategy is used to extract multidimensional association rules to optimize the data quality, and the inverse distance weighted interpolation method is used to construct a high-precision three-dimensional geological body model. At the same time, the model is optimized by C language programming to achieve accurate fitting with the geological model. The results show that using this method to integrate geological data in engineering surveys improves the overlay rule accuracy and realizes a high degree of integration between the BIM model and the geological body. The method provides a new effective path for the integration of geological survey data and BIM model construction, which has significant application potential and promotion value.

Keywords: multidimensional association rules; geological investigation; data integration; 3D modeling; geological model

0 引言

工程地质勘察是建筑工程前期的先导工作, 是保证工程进度和施工安全的重要手段。随着工程场地的复杂程度和施工难度的提高, 工程建设过程中

会面对大量地质数据信息, 能够快速有效地收集这些信息并应用到实际施工中, 实现数据信息共享, 对提高建筑工程质量是十分必要的。

李鹏等^[1]采用离散点平滑插值算法进行并行相近迭代运算, 开发立方网功能和局部统计学方法建立地质物理模型。然而这种方法在建模过程中三角化网格部分不兼容, 难以体现复杂地质环境, 无法实行规模化。卢昱杰等^[2]提出基于机器视觉的深度学习方法, 根据施工现场勘测图像采集数据生成标准文件, 自动建立模型, 结合导入的第三方模型实

作者简介: 赵君鹏 (1978—), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水文地质、工程地质和环境地质。

收稿日期: 2023-03-10

现工程数据获取与整合。然而该方法不能有效提取建筑结构体与地质层叠置规则，无法实现建筑工程地质体与结构体的 BIM 模型一体化整合。

针对上述问题，提出了一种基于多维关联规则的建筑工程地质勘察数据整合方法，精确提取多维建筑工程勘察数据关联规则，通过构建地质体与建筑结构体一体化实体模型，实现地质勘察数据整合。

1 基于多维关联规则的原始数据处理

通过 MALA-ProEX 地质勘探雷达系统对建筑工程地质状况进行整体扫描，将采集到的原始地质数据保存到计算机中，利用 FP-tree 多维关联规则方法分析各个地质因素的潜在关系，为制定施工方案提供合理的数据依据。

1.1 多维地质勘察原始数据关联计算

FP-tree (频繁模式增长树) 是一种基于数据关联规则的提取算法^[3]，该算法可以将多维勘察数据聚类为频繁模式树表现形式，并对其出现频率进行统计分析，由此发现大量数据之间的隐藏关系。根据雷达勘测结果，得到多维地质勘察原始数据集的比较数列为：

$$\begin{cases} x = \{x(1), x(2), \dots, x(n)\} \\ y = \{y(1), y(2), \dots, y(n)\} \\ z = \{z(1), z(2), \dots, z(n)\} \end{cases} \quad (1)$$

将原始数据集进行关联度计算：

$$r(x, y, z) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r[x(k), y(k), z(k)] \quad (2)$$

式中： r 为关联规则系数； k 为常数。

对上述计算步骤进行化简，得到更为具体的关联信息可表示为：

$$\delta_{ij} = \frac{1}{|r_i - r_0| + 1} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} |r_i - r_0| = & \frac{1}{2} [z(1) - y(1) - x(1)] + \\ & \sum_{k=2}^{n-1} [z(k) - y(k) - x(k)] + \\ & \frac{1}{2} [z(n) - y(n) - x(n)] \end{aligned} \quad (4)$$

式中： δ_{ij} 为相近关联程度； $|r_i - r_0|$ 为关联程度系数。 δ_{ij} 越大， x 、 y 、 z 的数值拟合度越高^[4]。统计关联程

度较高的原始数据出现频次，并以递减顺序排序，对于出现频次较少的数据进行剔除，提高勘察数据质量。

1.2 地质勘察数据关联规则精确提取

再次扫描所有数据集构建 FP-tree，以支持度阈值作为关联规则提取指标，公式为：

$$S(x \rightarrow y \rightarrow z) = \frac{M(x \cup y \cup z)}{M(A)} \quad (5)$$

式中： $M(x \cup y \cup z)$ 为同时包括 x 、 y 、 z 的勘测数据集； $M(A)$ 表示数据库中全部勘测数据集。

由下至上挖掘各个分支数据集出现频次，将满足支持度阈值的频繁数据子集由大至小排序，得到多维勘测数据关联规则。通过对关联规则的精准提取，能够发现多维勘测数据分布特性和潜在的关联信息，提高勘测结果可靠性。

2 建筑工程地质勘察数据一体化模拟整合

将求出的建筑工程地质勘察数据规则，采用 C 语言录入到 BIM 系统三角网格曲面建模程序中，在精确关联规则基础上，得到样条曲面转换与实体模型构建逻辑，以此实现建筑工程地质勘察数据的模拟整合。

2.1 三维建筑工程地质勘察数据 BIM 模型

BIM 是以计算机仿真技术为基础^[5]，将建筑工程地质勘察数据和设计方案等工程信息进行整合，构建 BIM 模型，具体流程如图 1 所示。

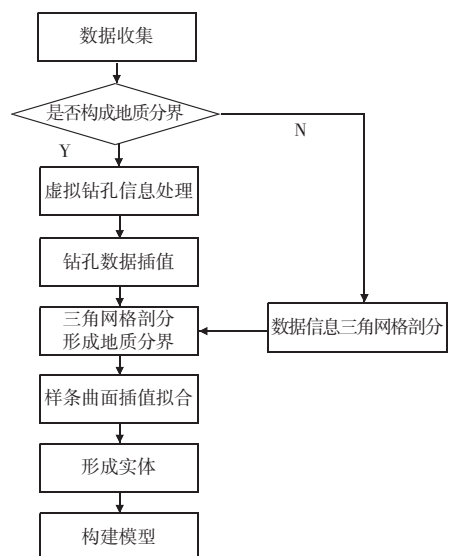


图 1 三维地质建模流程

Fig. 1 3D geological modeling process

研究与应用

收集 BIM 三维模型平面坐标信息, 依据虚拟钻孔数据, 利用倒数距离加权插值法对原始网格进行高程信息插值^[6], 根据平面定位点 $x(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 和 $y(y_1, y_2, \dots, y_n)$ 数值, 以及高程数据信息 $z(z_1, z_2, \dots, z_n)$ 和待预测点的平面位置 (x_0, y_0) , 可以计算待预测点的高程信息 $z(x_0, y_0)$ 为各点高程信息的加权平均值:

$$z(x_0, y_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z_i / [h(x_0, y_0)]^\lambda}{\sum_{i=1}^n 1 / [h(x_0, y_0)]^\lambda} \quad (6)$$

式中: $h(x_0, y_0)$ 为待预测点与各平面间的位置关系; λ 为加权系数。

通过上述计算得到三角化网格剖分操作的所有数据点集, 根据数据点集构建初始网格。三角化网格剖分过程, 如图 2 所示。

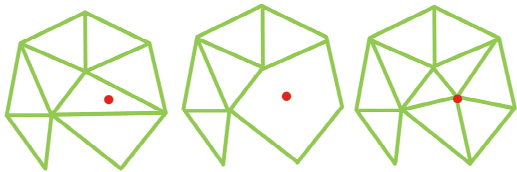


图 2 三角化网格剖分过程

Fig. 2 Triangulate the grid dissection process

观察图 2 可知, 以任意两个不相邻顶点的直线分割为两个三角形, 按顺序逐个插入数据点集。删除包括插入顶点的所有三角形, 然后将多边形结构顶点与新的插入顶点相连接, 构成新的三角形网格并重组信息结构, 重复以上步骤直到所有数据点集全部插入。

2.2 基于非均匀有理线条插值方法的 BIM 实体模型

将求出的建筑工程地质勘察数据规则编写到 BIM 程序中, 形成三角网格地表形态建模模块, 模块由工程信息储存文件、插值模块集合以及三角网格建模程序等构成^[7-8]。在精确关联规则的基础上, 得到样条曲面转换与实体模型构建逻辑。根据多层三角化网格剖分地表形态结构, 利用非均匀有理线条插值方法将地表结构重新组建。提取地表结构参数, 由此获得模型中信息点集分布状态和样条曲面建模参数, 样条曲面张量积计算公式为:

$$p(v, u) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n d_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v) \quad (7)$$

式中: $d_{i,j}$ 为曲面控制节点; u 、 v 分别为样条曲线方向; m 、 n 分别为样条曲面空间维度; $N_{i,k}(u)$ 、 $N_{j,l}(v)$ 分别为 u 、 v 方向样条曲面基函数, 且 $u_k \leq u \leq u_{k+1}$, $v_l \leq v \leq v_{l+1}$ 。

通过地表形态重建操作, 得到叠置非均匀有理样条地质基面, 并对基面耦合出现的界线不均匀现象采取统一修剪, 从而满足 BIM 建模需求。在此基础上, 采取逻辑几何运算和确定分区方法实现模型组建。

3 BIM 建筑工程地质结构模型一体化整合

3.1 建筑工程结构体模型构建

通过以上操作完成建筑工程三维地质实体模型构建, 为了实现建筑工程地质勘察数据一体化整合, 还需构建建筑工程结构体模型, 结合工程结构体数据实现数据的全面整合^[9-10]。结构体 BIM 建模流程如图 3 所示。

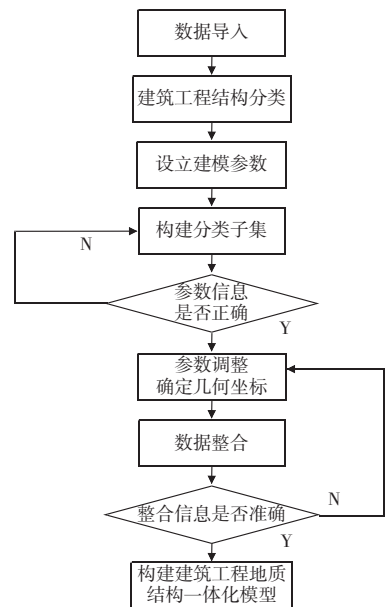


图 3 建筑工程地质结构模型建模流程

Fig. 3 Modeling process of building engineering geological structure model

建筑工程结构体由根桩承台基础结构、工程支护设施、砌体样板结构等构成^[9-10]。利用 BIM 海量结构资源库建模能力, 构建建筑工程结构资源库, 如图 4 所示。将工程结构体系所包含的重要结构按照不同的施工方案细化分类, 构成多个资源子集, 通过对构件的筛选和整合以满足不同的设计需求。利

用数据建模插件完成数据信息的自动采集和入库,形成基于 BIM 技术的地质结构信息化建模方法,快速搭建模型实体^[11]。再次执行插件程序,采用 C 语言输入系统命令,挖掘组件整合功能,通过调整控制参数,优化地质结构体模型几何形状,提高模型的准确性。利用工程设计资料,通过控制参数信息调整结构体几何位置,并进行不同构件组装,建立建筑工程结构体 BIM 模型。

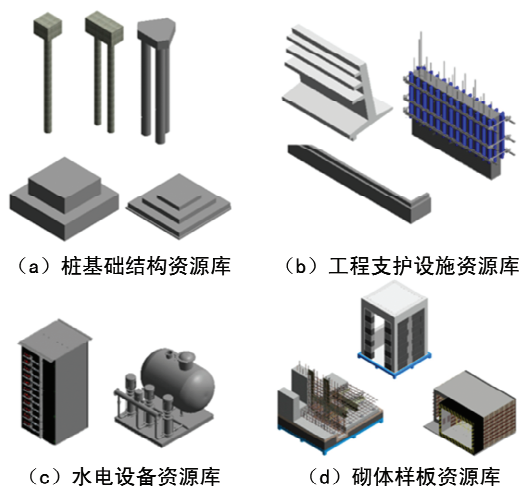


图 4 建筑工程结构资源库

Fig. 4 Resource database of construction engineering structures

3.2 建筑工程地质勘察数据整合

基于构建的三维地质模型与建筑工程结构模型,根据建筑工程模拟与数据整合需求,利用多个专业软件实现模型一体化整合和信息共享,具体方案如图 5 所示。

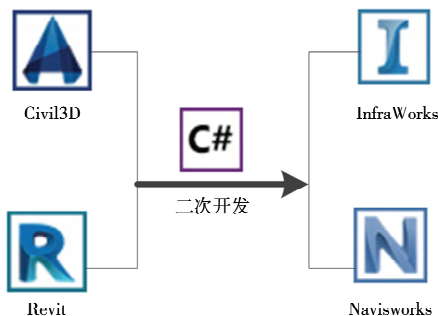


图 5 模型数据一体化整合方案

Fig. 5 Model data integration scheme

在地质模型与结构模型勘测数据拟合技术中,通常要将建筑工程地质与建筑工程结构模型一体化整合,最后采用插件模块进行实际模拟。首先,利用 Civil 3D 系统软件组建一体化拟合模型^[12-13],将已完成的三维地质模型与建筑工程结构模型进行实

体逻辑几何运算,确保模型空间结构相拟合。利用 Infra Works^[14]对拟合模型进行网格分割,对地质体网格与结构体网格参数进行调整,确保实体模型之间的高拟合度。最终在 Navisworks 软件上实现对地质体与结构体拟合一体化模型的三维模拟运算^[15],完成模型数据传输与转换。

4 工程案例

工程位于河南省某市某工业区,工程区域平面如图 6 所示。待建厂区总规划面积为 13 620 m²,以山地为主,规划区域平面不规则,长度与宽度存在较大差异。工程区域包含四个分区,整体地势落差较大,其中 A 区与 C 区最大高差为 128 m。

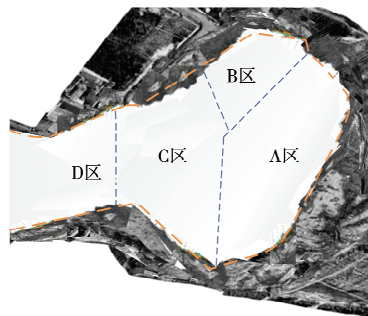


图 6 工程区域平面图

Fig. 6 Engineering area floor plan

采用三角化网格剖分方法重组地质层多样条曲面,如图 7 所示。

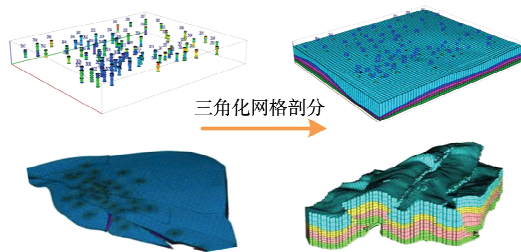


图 7 地质层多样条曲面重组

Fig. 7 Reorganization of various curved surfaces of geological layers

由图 7 可知,构成的地质层多样条曲面生成由多个新数据节点形成控制网格,通过对地质层边界线一致化裁剪等操作,构建某工业产区 BIM 地质实体模型,如图 8 所示。

地质实体模型直观地呈现了地质层叠置关系,通过调整控制参数对地质断层与层位多次反演,满足建模需求。根据工程数据构建结构体 BIM 模型,并与三维地质体模型进行整合,最终完成建筑工程

研究与应用

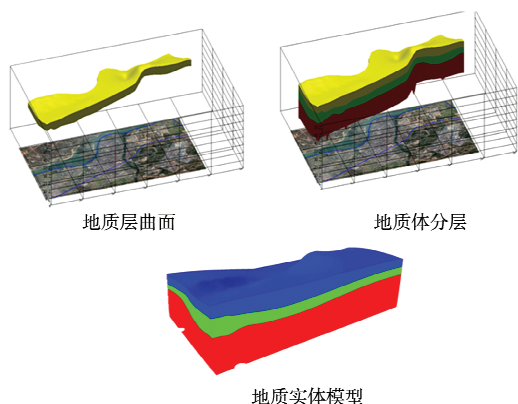


图 8 工业产区 BIM 地质实体模型

Fig. 8 BIM geological entity model in industrial producing area

地质体与结构体的 BIM 模型一体化整合, BIM 一体化模型如图 9 所示。

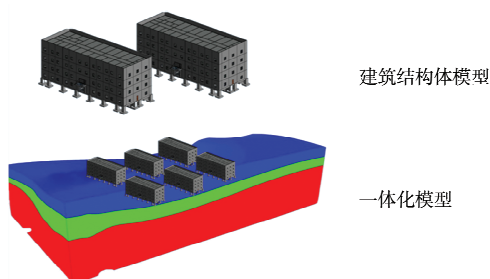


图 9 BIM 一体化模型

Fig. 9 The BIM integration model

参照地质体与结构体数据的潜在关联规则,对案例工程进行模拟仿真,同时将收集的工程数据进行分析 and 组合,实现了多维关联规则的建筑工程地质勘察数据高效整合,具有较强的可行性。

5 结论

基于多维关联规则的建筑工程地质勘察数据整合,通过对河南省某工业区进行实例分析,得出如下结论:

(1) 利用频繁模式增长树算法提取建筑工程勘察数据关联规则,挖掘工程数据信息潜在联系,提高数据质量。

(2) 依据精确数据关联规则重构多层三角化网格剖分地表形态进行样条曲面转换,为构建实体模型提供基础。

(3) 根据地质勘测采集数据,采取曲面拉伸和

逻辑几何运算等方法构建建筑工程地质层 BIM 实体模型。

(4) 通过建筑设计数据,结合多个专业工程建模软件,构建建筑结构 BIM 实体模型,并完成与地质体 BIM 实体模型的一体化整合。

参 考 文 献

- [1] 李鹏,程建远. 采掘工作面地质信息数字孪生技术[J]. 煤田地质与勘探, 2022, 50(11): 174-186.
- [2] 卢昱杰, 刘博, 刘金杉, 等. 面向施工机械的深度学习图像数据集成方法[J]. 建筑科学与工程学报, 2022, 39(4): 100-107.
- [3] 方世敏. 基于频繁模式树的多来源数据选择性集成算法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2022, 52(4): 885-890.
- [4] 王培培, 孟芸. 多段支持度数据频繁模式关联规则挖掘仿真[J]. 计算机仿真, 2021, 38(5): 282-286.
- [5] 雷传扬, 刘兆鑫, 文辉, 等. 基于多源数据和先验知识约束的复杂地质体三维建模研究[J]. 地质论评, 2022, 68(4): 1393-1411.
- [6] 许逢明, 赵院冬, 李成立, 等. 黑龙江多宝山矿集区三维地质建模与深部找矿预测[J]. 地质与勘探, 2022, 58(3): 629-652.
- [7] 李忠伟, 徐斌, 李永, 等. 基于非结构化三角网格的海洋流场可视化[J]. 图学学报, 2022, 43(3): 486-495.
- [8] 陈俊生, 吴冰鑫, 刘叔灼. 基于 CATIA 的溶洞及裂隙带数字化建模技术研究[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(1): 158-164.
- [9] 陈黎明, 冯晓林, 王建民. 面向矿区地质数据的集成方法及应用[J]. 中国矿业, 2021, 30(增刊2): 129-135.
- [10] 唐喜. BIM 技术在大型复杂建筑结构预应力施工中的应用[J]. 建筑结构, 2022, 52(增刊1): 1945-1948.
- [11] 陈英杰, 王俊平, 魏敬徽, 等. 基于 BIM 的建筑工程进度编制及优化研究[J]. 现代电子技术, 2022, 45(13): 67-72.
- [12] 李佳吟, 邓雪原. 基于 BIM 的建筑空间管理信息复用方法[J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38(2): 168-173.
- [13] 钱佳鑫, 陈东, 邓树新. 建筑信息模型技术在城市密集区桥梁施工中的应用[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(5): 2063-2068.
- [14] 杨智勇, 尹城川, 聂家岩, 等. 考虑场地多源勘测数据三维空间相关性的土体参数概率密度函数估计[J]. 岩土力学, 2022, 43(6): 1571-1584.
- [15] 姜震宇, 解会兵. 基于建筑信息模型技术的刚构桥检测分析一体化研究[J]. 工业建筑, 2022, 52(2): 180-185.